



国家示范性高等院校核心课程规划教材

煤矿开采技术专业及专业群教材

# 矿山压力 观测与控制

KUANGSHAN YALI  
GUANCE YU KONGZHI

主 编 周诗建 周华龙  
副主编 林发荣 何荣军 骆大勇  
喻晓峰 孙国文



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

# 矿山压力观测与控制

主 编 周诗建 周华龙  
副主编 林发荣 何荣军 骆大勇  
喻晓峰 孙国文

重庆大学出版社

## 内容提要

研究矿山压力显现规律及其各种控制方法,其目的是为了保证生产安全与取得良好的经济效益。本书结合采矿实际,本着知识性、实用性、易操作性的原则,阐述了矿山压力形成分析、矿山压力观测、采准巷道压力控制、采煤工作面矿压观测、顶板控制、矿山动力现象分析及防治等方面。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿山压力观测与控制/周诗建,周华龙主编. —重庆:重庆大学出版社,2010.3

(煤矿开采技术专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-5282-9

I. ①矿… II. ①周…②周… III. ①矿山压力—观测—高等学校:技术学校—教材②矿山压力—控制—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TD3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第017463号

## 矿山压力观测与控制

主编 周诗建 周华龙

责任编辑:朱开波 文 鹏 版式设计:朱开波

责任校对:夏 宇 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:412千

2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 978-7-5624-5282-9 定价:29.50元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 编写委员会

编委会主任 张亚杭

编委会副主任 李海燕

## 编委会委员

唐继红

黄福盛

吴再生

李天和

游普元

韩治华

陈光海

宁望辅

栗俊江

冯明伟

兰 玲

庞 成

# 序

本套系列教材,是重庆工程职业技术学院国家示范高职院校专业建设的系列成果之一。根据《教育部 财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划 加快高等职业教育教学改革与发展的意见》(教高[2006]14号)和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件精神,重庆工程职业技术学院以专业建设大力推进“校企合作、工学结合”的人才培养模式改革,在重构以能力为本位的课程体系的基础上,配套建设了重点建设专业和专业群的系列教材。

本套系列教材主要包括重庆工程职业技术学院五个重点建设专业及专业群的核心课程教材,涵盖了煤矿开采技术、工程测量技术、机电一体化技术、建筑工程技术和计算机网络技术专业及专业群的最新改革成果。系列教材的主要特色是:与行业企业密切合作,制定了突出专业职业能力培养的课程标准,课程教材反映了行业新规范、新方法和新工艺;教材的编写打破了传统的学科体系教材编写模式,以工作过程为导向系统设计课程的内容,融“教、学、做”为一体,体现了高职教育“工学结合”的特色,对高职院校专业课程改革进行了有益尝试。

我们希望这套系列教材的出版,能够推动高职院校的课程改革,为高职专业建设工作作出我们的贡献。

重庆工程职业技术学院示范建设教材编写委员会  
2009年10月

# 前 言

本书是国家示范高职院校建设煤矿开采技术专业的核心课程教材之一。

近年来,我国煤炭开采与生产技术取得了巨大的进步。全国煤矿安全生产状况总体上呈现出相对稳定并趋向好转的发展态势。为了培养煤炭行业高技能专业人才的需求,促进煤矿安全生产形势根本好转,编写了《矿山压力观测与控制》一书。

本书是作者在多年教育教学工作的基础上,并广泛参阅了国内外的有关论著以及煤矿生产的成功经验之后编写而成的。本书打破了传统的学科体系教材编写模式,以工作过程为导向,系统设计课程内容,融“教、学、做”为一体,体现了高职教育“工学结合”的特色。在内容安排上,着重追求理论与实践并重,采取少而精的结构体系。具体编写分工如下:周诗建、孙国文编写了课程导入;林发荣编写了学习情境1;周华龙编写了学习情境2和学习情境4;何荣军编写了学习情境3;骆大勇编写了学习情境5;喻晓峰编写了学习情境6。周诗建、周华龙任主编,孙国文、冯廷灿统稿。

感谢山东科技大学张开智教授对本书大纲进行了认真审阅并提出了修改意见。另外,本书在编写过程中参阅了不少专著和资料,部分已列入书后参考文献中,在此对作者一并感谢。

为了满足国家示范高职院校建设教学的迫切需求,本书的编写时间仓促,又限于编写人员的水平和眼界,书中难免有缺陷和错误之处,诚恳希望读者批评指正。

编 者

2010年2月

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 课程导入 .....                   | 1  |
| 0.1 基本概念 .....               | 1  |
| 0.2 研究历史 .....               | 2  |
| 0.3 研究意义 .....               | 4  |
| <br>                         |    |
| 学习情境 1 矿山压力形成分析 .....        | 6  |
| 任务 1 巷道围岩应力状态及矿山压力显现规律 ..... | 6  |
| 1.1 巷道围岩的应力状态 .....          | 6  |
| 1.2 采准巷道矿山压力显现规律 .....       | 14 |
| 任务 2 采煤工作面上覆岩层移动规律 .....     | 18 |
| 2.1 概述 .....                 | 18 |
| 2.2 采场上覆岩层活动规律 .....         | 19 |
| 2.3 基本顶的板式破断 .....           | 31 |
| 2.4 直接顶的稳定性 .....            | 33 |
| 2.5 采煤工作面上覆岩层的移动概况 .....     | 35 |
| 任务 3 采煤工作面矿山压力显现规律 .....     | 37 |
| 3.1 基本顶的初次来压 .....           | 38 |
| 3.2 基本顶的周期来压 .....           | 40 |
| 3.3 回采工作面前后支承压力的分布 .....     | 42 |
| 3.4 影响采煤工作面矿山压力的主要因素 .....   | 44 |
| 3.5 分层开采时的矿山压力显现特点 .....     | 50 |
| 3.6 放顶煤开采时矿压显现特点 .....       | 51 |
| <br>                         |    |
| 学习情境 2 巷道矿山压力观测与分析 .....     | 57 |
| 任务 1 巷道围岩表面位移测量 .....        | 57 |
| 1.1 测站布置及测点安设 .....          | 58 |
| 1.2 观测仪器与使用方法 .....          | 59 |
| 任务 2 巷道围岩深部位移测量 .....        | 63 |

|              |                             |            |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 2.1          | 机械式多点位移计 .....              | 64         |
| 2.2          | 磁性测点钻孔位移计 .....             | 65         |
| 2.3          | 声波多点位移计 .....               | 66         |
| 任务3          | 巷道支护体载荷与变形观测 .....          | 67         |
| 3.1          | 支撑式支架外部载荷观测 .....           | 67         |
| 3.2          | 支架构件内力的测定 .....             | 75         |
| 3.3          | 锚杆(索)支护监测 .....             | 76         |
| 任务4          | 巷道围岩应力观测 .....              | 90         |
| 4.1          | 地应力测量方法 .....               | 91         |
| 4.2          | 测点的选择 .....                 | 99         |
| 任务5          | 巷道围岩松动圈的测定 .....            | 99         |
| 5.1          | 超声波测井探测法 .....              | 99         |
| 5.2          | 深基点位移计观测方法 .....            | 103        |
| 5.3          | 巷道矿压资料分析实例 .....            | 104        |
| <b>学习情境3</b> | <b>采准巷道压力控制 .....</b>       | <b>112</b> |
| 任务1          | 采准巷道变形与破坏 .....             | 112        |
| 1.1          | 采准巷道变形与破坏的基本形式 .....        | 112        |
| 1.2          | 采准巷道变形与破坏的影响因素 .....        | 113        |
| 任务2          | 采准巷道矿压控制原理 .....            | 114        |
| 2.1          | 采准巷道矿压控制基本方法和途径 .....       | 114        |
| 2.2          | 巷道“支架—围岩”相互作用和共同承载原理 .....  | 115        |
| 2.3          | 符合“支架—围岩”共同承载原理的支护方式 .....  | 117        |
| 任务3          | 采准巷道维护 .....                | 117        |
| 3.1          | 将巷道布置在低压区 .....             | 117        |
| 3.2          | 将巷道布置在性质良好的岩层中 .....        | 124        |
| 任务4          | 采准巷道支护 .....                | 125        |
| 4.1          | 巷道支护特点及要求 .....             | 125        |
| 4.2          | 巷道支护类型 .....                | 125        |
| <b>学习情境4</b> | <b>采煤工作面矿山压力观测与分析 .....</b> | <b>131</b> |
| 任务1          | 技术准备 .....                  | 131        |
| 1.1          | 矿压监测的目的和任务 .....            | 131        |
| 1.2          | 现场矿山压力监测步骤 .....            | 132        |
| 任务2          | 采场矿压监测常用仪器 .....            | 134        |
| 2.1          | 围岩位移监测仪器 .....              | 134        |



|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 2.2          | 单体支柱的阻力监测仪器          | 139        |
| 2.3          | 综采工作面支架阻力监测          | 140        |
| 2.4          | 底板比压仪                | 146        |
| 任务3          | 单体液压支柱采场矿压监测         | 147        |
| 3.1          | 测区布置                 | 148        |
| 3.2          | 观测方法与记录              | 149        |
| 3.3          | 单体液压支柱工作面支护质量与顶板动态监测 | 153        |
| 3.4          | 回采工作面底板比压的测定         | 155        |
| 任务4          | 综采工作面矿山压力监测          | 158        |
| 4.1          | 支架—围岩体系监测控制原理        | 158        |
| 4.2          | 综采工作面支护阻力的监测         | 162        |
| 4.3          | 工作面液压支架矿压观测实例        | 164        |
| 任务5          | 采煤工作面顶板状况统计观测        | 172        |
| 5.1          | 顶板状况观测统计的内容和衡量指标     | 172        |
| 5.2          | 顶板统计观测方法及工具          | 176        |
| 5.3          | 观测数据的整理与分析           | 177        |
| 任务6          | 采场上覆岩层变形和破坏过程的观测和预报  | 178        |
| 6.1          | 采场上覆岩层变形和破坏过程的观测     | 178        |
| 6.2          | 采场顶板移动的预测预报          | 180        |
| 6.3          | 采场基本顶来压预测预报          | 184        |
| 任务7          | 矿压观测报告编写             | 188        |
| 7.1          | 矿压观测报告内容             | 188        |
| 7.2          | 观测结果分析               | 188        |
| <b>学习情境5</b> | <b>采煤工作面顶板控制</b>     | <b>195</b> |
| 任务1          | 采煤工作面顶板分类与底板特性       | 195        |
| 1.1          | 直接顶的分类               | 195        |
| 1.2          | 基本顶的分类               | 197        |
| 1.3          | 底板特征                 | 198        |
| 任务2          | 采煤工作面支架工作特征          | 199        |
| 2.1          | 单体液压支柱               | 200        |
| 2.2          | 液压支架                 | 205        |
| 2.3          | 支架与围岩的相互作用原理         | 208        |
| 任务3          | 单体支柱采煤工作面顶板控制分析      | 210        |
| 3.1          | 顶板控制方法选择             | 210        |
| 3.2          | 顶板控制原则               | 210        |

|              |                          |            |
|--------------|--------------------------|------------|
| 3.3          | 支护方式分析·····              | 211        |
| 3.4          | 单体支柱支护参数·····            | 218        |
| 任务4          | 综采工作面顶板控制分析·····         | 222        |
| 4.1          | 液压支架架型选择·····            | 223        |
| 4.2          | 液压支架参数·····              | 225        |
| 4.3          | 液压支架工作方式·····            | 230        |
| <b>学习情境6</b> | <b>矿山动力现象分析与防治</b> ····· | <b>232</b> |
| 任务1          | 冲击矿压简介·····              | 232        |
| 1.1          | 冲击矿压的现象·····             | 232        |
| 1.2          | 冲击矿压的特点·····             | 232        |
| 1.3          | 冲击矿压的分类·····             | 233        |
| 1.4          | 冲击矿压和矿震对环境的影响·····       | 234        |
| 任务2          | 冲击矿压发生的机理·····           | 235        |
| 2.1          | 冲击矿压产生的因素·····           | 235        |
| 2.2          | 冲击矿压发生的机理·····           | 238        |
| 任务3          | 冲击矿压预测及防治·····           | 239        |
| 3.1          | 冲击矿压的预测·····             | 239        |
| 3.2          | 冲击矿压防治·····              | 241        |
| <b>参考文献</b>  | ·····                    | <b>249</b> |

# 课程导入

研究矿山压力显现规律及其各种控制方法,其目的是为了保证生产安全和取得良好的经济效益。在煤矿开采的全过程中,巷道掘进和支护、采煤工作面采煤和顶板管理、井下巷道的布置和维护、煤矿各部分的合理开采部署、采煤机械化和“三下”采煤的实现以及露天矿边坡稳定的控制等,都离不开对矿山压力显现规律的认识和利用。对矿山压力显现规律认识越深刻,就越能利用它来改进开采技术;开采技术发展越完善,就越有利于有效地控制矿山压力。

在煤矿开采过程中,顶板事故频繁或巷道维护状况差,势必影响井下正常运输、通风和行人,给生产带来极大的危害,甚至难以进行正常生产。这就迫使人们必须重视矿压显现规律的研究和岩层控制问题。巷道围岩控制理论和技术还使合理支护各类巷道成为可能,岩层控制理论和技术为大幅度降低顶板事故作出了突出贡献。

采煤工作面上覆岩层移动影响到地下水分布、引发地表沉陷,带来煤矸石和瓦斯排放等与生态环境保护密切相关的问题。岩层控制理论为实现保水采煤,完善条带开采和充填技术,进行井下矸石处理和有效抽放瓦斯奠定了理论基础。

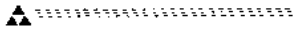
在开采矿物过程中,为了保护巷道和管理采场顶板,常常留设各类煤柱,这些煤柱是造成地下资源损失的主要根源。通过开采引起的围岩应力重新分布规律的研究,推广无煤柱巷道和跨越巷道开采等技术措施,不仅可显著减少资源损失,还有利于消除煤柱存在而引起的灾害和对采矿工作的不利影响。

对采煤工作面、巷道支架-围岩相互作用关系的深刻认识和围岩支护手段的进步,促进了开采技术的发展。自移式液压支架的应用,实现了采煤综合机械化。巷道可缩性金属支架和锚喷支护的应用,改变了刚性、被动支护巷道的局面。同时,对采煤工作面、巷道围岩稳定性分类,为合理选择支护形式、支护参数提供了科学依据。

在分析研究采煤工作面、巷道及矿山边坡各类围岩移动规律以及各种控制技术的基础上,目前已较完整地提出了从围岩结构稳定性分类、稳定性识别、矿压显现预测、支护设计、支护量与顶板动态监测、信息反馈直至确定最佳设计的一整套理论、方法与技术,由此创造了采矿工业良好的社会效益和经济效益。

## 0.1 基本概念

地下岩体在受到开挖以前,自重引起的应力(通常称为原岩应力)是处于平衡状态的。当



开掘巷道或进行回采工作时,破坏了原来的应力平衡状态,就会引起岩体内部的应力重新分布。它表现为巷洞周围煤、岩体产生移动、变形甚至破坏,直到煤、岩体内部重新形成一个新的应力平衡状态为止。在此过程中,巷洞本身或安设在其中的支护物会受到各种力的作用。这种由于在地下煤岩中进行采掘活动而在井巷、洞室及回采工作面周围煤、岩体中和其中的支护物上所引起力,就叫做“矿山压力”(简称“矿压”,有些文献中称为“地压”、“岩压”等)。

在矿山压力作用下,会引起各种力学现象,如顶板下沉、底板鼓起、巷道变形后断面缩小、岩体破坏散离甚至大面积冒落、煤被压松产生片帮或突然抛出、支架严重变形或损坏、充填物受压缩,以及大量岩层移动地表发生塌陷等。这些由于矿山压力作用,使围岩、煤体和支护物产生的种种力学现象,统称为“矿山压力显现”(简称“矿压显现”)。

在大多数情况下,矿压显现会给地下开采工作造成不同程度的危害。为使矿压显现不影响正常开采工作和保证生产安全,必须采取各种技术措施加以控制,包括对巷道及回采工作空间进行支护,对软弱或破碎的煤岩进行加固,用各种方法使巷道或回采工作空间得到卸压,对采空区进行充填,或用人力的方法使采空区顶板按预定要求冒落等。此外,人们对矿压的控制不仅在于消除和减轻矿压对开采工作造成的危害,还包括有效地利用矿压的自然能量为开采工作服务。例如,依靠矿压的作用压松煤体以减轻落煤工作,借助采空区上覆岩层压力去压实已冒落的矸石以形成自然再生顶板等。所有这些人调节以及改变和利用矿山压力作用的各种措施,叫做“矿山压力控制”(简称“矿压控制”)。

### 0.2 研究历史

采矿工业是一切工业的先行部门,一向被誉为“工业之母”。许多国家发展工业的经验表明,发展工业离不开采矿。然而在早期的采矿工作中,人们只能从现象上去认识矿压的显现形式,真正开始矿压的研究不过几十年的历史。就世界范围来说,对矿压及其控制的研究大致可分为以下几个发展阶段。

#### 0.2.1 对矿压的早期认识阶段

我国是世界上采矿最早的国家之一。明代末年所出的《天工开物》一书中,已具体地记述了用立井开采及在井下进行支护和充填的情况。说明我国在采矿事业发展的初期,人们就已认识到矿压的危害,需要加以控制。

随着采矿规模日益扩大,经常出现矿井内顶板冒落、巷道堵塞或地表塌陷等事故,迫使人们不得不重视和研究矿压问题。例如,欧洲国家对矿压的认识大约开始于15世纪。据文献记载,15世纪时,英国曾发生过由于开矿造成地表破坏而引起诉讼的事件。中世纪时,欧洲一些国家中因地下开采而发生破坏庙宇及城市供水的事件增多,开始出现了防止采矿工作破坏地表的协定(1487年)。到19世纪30年代以后,在比利时、德、法等国家,为了防止地面房屋建筑遭到破坏,也曾提出过一些确定保护煤柱的方法。

#### 0.2.2 建立矿压早期假说的阶段

19世纪后期到20世纪,可看作是矿压研究的第二阶段。此阶段的特点是利用某些比较简单的力学原理解释实践中出现的一些矿压现象,并提出了一些初步的矿压假说。其中最具有代表性的是认为巷道上方能形成自然平衡拱的所谓“压力拱假说”及有关分析计算。在这个阶段中,对巷道围岩破坏机理和支架所受的岩石压力大小也开始进行了初步的理论研究。尽管这时提出的一些理论和假说本身尚存在许多不足之处,而且只能在比较局限的条件下应

用,但它在矿压研究的发展进程中曾起过重要的历史作用。此外,这个阶段中还提出了以岩石坚固性系数 $f$ (普氏系数)作为定量指标的岩石分类方法,并获得广泛应用,至今也未完全失去其意义。

这个阶段,在研究岩层和地表移动理论方面,通过精确的仪器测量,人们开始认识到对地面建筑物的损坏不仅仅是由于地表下沉,而且是由于水平移动的结果。此外,为了进一步掌握矿山岩体变形随时间、空间而变化的规律,除在地面观测外,还开始在井下巷道中进行了岩层移动观测。

### 0.2.3 以连续介质力学为理论基础的研究阶段

20世纪30年代至50年代是这个阶段的代表时期。由于开采深度和开采规模加大,人们开始感到仅仅研究巷道周围局部地区岩石状况变化的理论和方法(如拱形理论、建筑力学方法等),已不能充分反映开掘巷硐所引起的围岩中应力变化的真实过程,于是开始把巷道周围直到地表的整个岩体当作连续的、各向同性的弹性体来进行研究和建立假说。即用弹性理论研究矿山岩石力学问题,并推出了在白重作用下计算原岩应力的有关公式,研究了由于开掘各种形状的垂直和水平单一巷道而引起的自然应力场的变化。其中典型的例子之一是用弹性理论解决了圆形巷道周围的应力分布问题。以后又研究了岩体非均质性和各向异性对理想弹性体的影响,以及把岩层看作是具有不同变形特性的弹性介质,进一步研究岩体层理性的影响。此外还用连续介质力学方法研究了岩层移动问题。

在进行理论研究的同时,研究矿压的实验手段也获得了发展。其中应用较广的是利用相似材料进行的相似模型研究方法,其次是利用光敏材料进行的光弹性模拟研究方法。

在这个阶段中,矿压控制手段取得了一些新的突破,其中较有代表性的有井下巷道中开始采用U形钢拱形可缩性金属支架(1932年,德国),回采工作面中开始采用摩擦式金属支柱(20世纪30年代,德国等),煤矿中开始应用锚杆支架(1940年,美国),以及采煤工作面中出现第一架自移式液压支架(20世纪50年代初,英国)等。矿井支护技术的这些进步,为以后煤矿中矿压控制技术的现代化奠定了基础。

### 0.2.4 矿压研究的近代发展阶段

这个阶段主要是指20世纪60年代至今的近20~30年。在这个时期内,矿压研究在以下几方面取得了新的进展。

(1)在理论研究方面,除了继续应用连续介质力学方法研究有关矿压问题外,进一步发展了考虑岩石真实特性的各种理论研究。其中最重要的是把岩体看作是受到各种性质的弱面切割的多裂隙介质,于是使矿压的基本研究对象——岩体,具有了与一般固体所不同的力学特征。从这个观点出发,引用相关学科中现代研究成就的结果,出现了一系列边缘学科分支和方法,如利用断裂力学理论研究裂隙岩体而提出了所谓岩石断裂力学,它对采矿工程中的岩石破碎问题和研究冲击矿压机理有密切关系,近年来还提出用岩体的损伤模型来描述岩石破坏过程,并可对岩体的稳定性做定量分析;又如把岩体看作是碎块集合体的基础上,借助颗粒力学理论,根据对碎块体进行实验研究的结果,提出了所谓岩石块体力学,它可以研究不规则块体的相互平衡和运动。再如在把工程岩体看作是被结构面和工程开挖面(暴露面)共同切割的块体所组成的群体的前提下,提出了所谓块体稳定理论。它利用力学中分析刚体运动的方法,通过对几何可移块体进行稳定性分析,可以预测开挖面上可能遇到的不稳定岩块,并在开挖过程中对它及时进行加固

考虑岩石真实特性的理论研究的另一个发展,是把岩体变形看作是与时间有关的岩石流变特性的研究。由于将流变理论引入岩石力学的结果,提出了所谓岩石流变学,它可以考虑围岩应力场随时间的变化,岩体内应力的释放,岩石流变的扩容现象,岩石膨胀的机理,以及推算某些岩体经过长时间以后的强度和变形特性,这些研究工作对于服务年限较长的巷道,尤其是位于软岩中的巷道的维护有重要意义。

在研究方法方面值得提出的是在现代计算机技术基础上发展起来的一些新的数值分析方法,如有限元法、边界元法、离散元法等。这些方法可以在考虑岩体复杂力学属性的基础上去分析巷洞周围岩体中的应力变化和位移分布,确定其稳定性等,使矿压理论研究有可能获得更符合实际的数值解答。

另外,在地表岩层移动研究方面,在进行大量现场观测和掌握了不同条件下岩层移动基本规律的基础上,建立了更为完善的因开采造成的地表沉陷和变形值的计算和预测方法,以及开展了开采工作引起的煤层上覆岩层运动机理及其有关规律的研究。

(2)在应用研究方面,配合地下开采技术和支护技术的发展,进行了不同煤层条件下采用不同支护类型的回采工作面中矿压显现规律的研究,开展了采用煤柱护巷和无煤柱护巷的各类巷道中的矿压显现规律的研究,以及进行了为解决有冲击矿压、煤和瓦斯突出危险煤层开采的有关研究,从而为改善回采工作面矿压控制、合理布置和维护巷道、以及保证安全生产,提供了科学依据。

(3)在实验研究方面,结合各类研究课题的需要,改善了进行现场观测和实验室研究的各种仪器和设备,广泛发展了包括力学、电学、声学、光学、磁学、放射性测定等各种常规的和新的测试手段和方法,开展了对岩石和岩体各种力学特性的实验室研究和现场研究,包括利用三轴试验机 and 刚性试验机对岩石三轴强度和残余强度特性进行的研究,这些都为进一步开展理论研究,提供了必要的原始数据和资料。

除此之外,在矿压控制方面,进一步改善了巷道支护技术。如发展大断面、大缩量和高支撑力的可缩性金属支架,广泛应用锚喷支护,发展了树脂锚杆、快凝水泥锚杆、可伸长锚杆和其他新型锚杆,开始采用注浆方法加固不稳定煤层和围岩。回采工作面中的自移式液压支架日趋完善,架型增多,适用范围扩大。对过去难以控制的坚硬顶板,通过高压注水、超前爆破等手段,比较有效地避免了在采空区中突然大面积冒落所造成的危害,对井下冲击矿压的预测和控制的效果也大为提高。因此,在这个阶段中,人们对矿压的控制日趋有效,使采煤效率和井下工作的安全程度得到了很大提高。

### 0.3 研究意义

研究矿压显现规律及其各种控制方法的基本目的,是为了保证生产安全和取得良好的经济效益。总而言之,学习本课程对煤矿开采的意义表现在以下几方面。

#### 0.3.1 保证安全和正常生产

据统计,在煤矿的各种自然灾害中,顶板事故造成的人员伤亡几乎占井下所有事故死亡人数的一半。这类事故小至个别岩块掉落,大至工作面大面积冒顶,无不与对矿压显现规律的掌握程度以及采取的控制手段是否正确有关。由于顶板事故频繁或巷道维护状况极差,影响井下正常运输、通风和行人,都会给生产带来极大危害,甚至难以进行正常生产,这些都迫使人们必须重视矿压显现规律的研究和其控制问题。

### 0.3.2 减少地下资源损失

在开采过程中,为了保护巷道或进行回采工作面顶板管理,常常留设各种煤柱(护巷煤柱、采区隔离煤柱、房间煤柱、“刀柱”等)。据统计,煤柱造成的损失平均占矿井可采储量的20%~40%,这是造成煤炭损失的主要根源。此外,在发生大、中型冒顶事故时也会引起煤炭损失。所以,研究矿压显现规律,减少顶板事故,选择合理的煤柱尺寸,甚至在某些情况下完全取消煤柱,就有可能大大减少煤炭资源损失。

### 0.3.3 改善地下开采技术

地下开采技术的进步、对矿压显现规律的深刻认识,和矿压控制手段的改善有密切关系。例如,自移式液压支架的应用促成了采煤综合机械化的实现,反之,开采技术的变化和开采难题的解决又往往要求以矿压控制问题的解决为必要前提。例如,开采深度增加使矿压显现更为剧烈,并带来了一系列新的矿压控制问题,只有不断解决这些问题才能使未来复杂条件下的开采工作得以顺利进行。这些都说明随着开采条件日益困难和新技术的发展要求更深入地研究矿压显现规律及其新的控制方法。

### 0.3.4 提高采煤经济效果

为了维护巷道和管理顶板,每年要消耗大量人力、物力。例如,一般矿井的巷道维修人员约占井下生产工人的10%~20%,而且为了进行矿压控制,全国煤矿每年要消耗大量的坑木、金属支护材料、水泥和其他材料。这些都会明显地增加开采费用,使吨煤成本上升。如果由于矿压控制不善而发生各种顶板事故,则还可能造成人员伤亡、生产中断,这就可能给全矿井带来更大的经济损失。

综上所述,掌握矿压显现规律、研究矿压控制的有效方法,对煤矿生产有十分重要的意义。因此,《矿山压力及其控制》这门课程在地下采煤学术领域中,占有非常重要的地位。

# 学习情境 I

## 矿山压力形成分析

### 任务 1 巷道围岩应力状态及矿山压力显现规律

#### 1.1 巷道围岩的应力状态

由于地下巷道和回采空间具有复杂的几何形状,以及巷道和回采空间周围岩体也是属于非均质、非连续、非线性以及加载条件和边界条件复杂的一种特殊介质。到目前为止,对于岩石及岩体的力学性质,以及原岩应力场的特征,尚未完全掌握,所以还无法用数学力学的方法精确地求解出巷道周围岩体内各处的应力分布状态。自发展有限元、边界元、有限差分法等数值分析方法以来,虽然在数学力学工具上取得一定的进步,但结果仍然是经过简化的近似解。根据采矿工程的特点,通过近似地求解出巷道周围的应力状态对了解巷道变形的机理是十分有益和非常必要的。但是,对复杂的矿山地下工程条件也必须做一些简化。

首先,将巷道及回采空间简化为各种理想的单一形状的孔,如圆形、椭圆形及矩形等,这样各巷道之间的影响也就可视为孔与孔之间的影响;其次,巷道周围的岩体性质也须简化,一般看作完全均质的连续弹性体;此外,还需对孔周围的原岩应力场及其应力状态作一些假设,把均质连续无限或半无限弹性体中孔周边应力分布问题作为平面应变问题进行分析。

随着侧压系数 $\lambda$ 不同,可能有几种典型的应力状态,现列于表 1-1。当 $\lambda > 1$ 时,实际上是表 1-12 中双向不等压状态的坐标系旋转了 $90^\circ$ 的情况。

未经采动的岩体,在巷道开掘以前通常处于弹性变形状态,岩体的原始垂直应力为上覆岩层的重量。在岩体内开掘巷道后,会发生应力重新分布,如果这种重新分布的应力不超过围岩的弹性极限,则巷道围岩会处于弹性平衡的应力状态,此时最大的应力出现在巷道周边。如果应力超过弹性极限,则巷道围岩会产生塑性变形。由于岩体呈脆性,因而很容易破裂,从而在巷道周围形成破裂区。随着离巷道周边距离增加,岩体应力逐渐缩小,岩体强度增高,因而巷道周边的岩体由近向远将由破裂区、塑性区、弹性区状态过渡到原岩应力状态。一般来说,也可将破裂区与塑性区近似的视为极限平衡区。为了便于分析计算,通常把围岩划分为极限平衡区、弹性应力区和原岩应力区,如图 1-1 所示。



表 1-1 应力场的各种形式

| 应力场性质<br>对比项目                            | 非均匀应力场         |                                  |                                      | 均匀应力场                 |
|--|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 典型示意图                                    |                |                                  |                                      |                       |
| 侧应力变化倾向                                  | 小→大            |                                  |                                      |                       |
| 侧压系数                                     | $\lambda = 0$  | $\lambda = \frac{1}{3}$          | $\frac{1}{3} < \lambda < 1$          | $\lambda = 1$         |
| 水平应力( $\sigma_2$ )与铅直应力( $\sigma_3$ )的比值 | $\sigma_2 = 0$ | $\sigma_2 = \frac{1}{3}\sigma_1$ | $\sigma_2 = (1-3)\frac{\sigma_1}{3}$ | $\sigma_2 = \sigma_1$ |
| 应力状态                                     | 单向受压           | 双向不等压                            | 双向不等压                                | 双向等压                  |

1.1.1 弹性应力区巷道围岩应力状态

1) 双向等压圆形巷道的弹性应力状态

假设围岩为均质,各向同性,线弹性,无蠕变或粘性行为;原岩应力为各向等压(静水压力),状态巷道断面为圆形;在无限长的巷道长度里,围岩的性质一致。于是可以采用研究平面应变问题的方法,取巷道的任一截面作为其代表,且埋探  $H$  大于或等于巷道半径  $R_0$  (或其宽、高)的 20 倍。即有:

$$H \geq 20R_0 \quad (1-1)$$

研究表明,当埋深  $H \geq 20R_0$  时,可忽略巷道影响范围(3~5 倍  $R_0$ )内的岩石自重(图 1-2),这与原问题的误差不超过 10%。水平原岩应力可以简化为均布的,原问题就转变为荷载与结构都是轴对称的平面应变圆孔问题(图 1-3)。

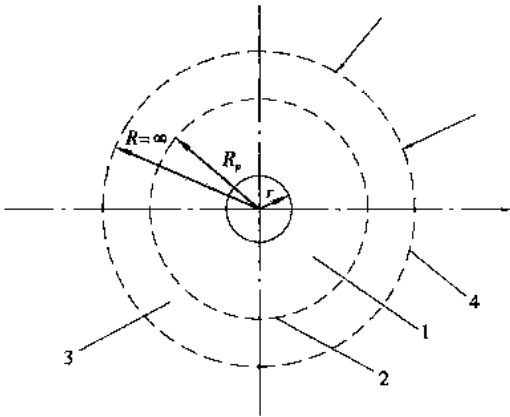


图 1-1 巷道围岩应力状态分布

1—极限平衡区;2—交界面;  
3—弹性应力区;4—原岩应力区

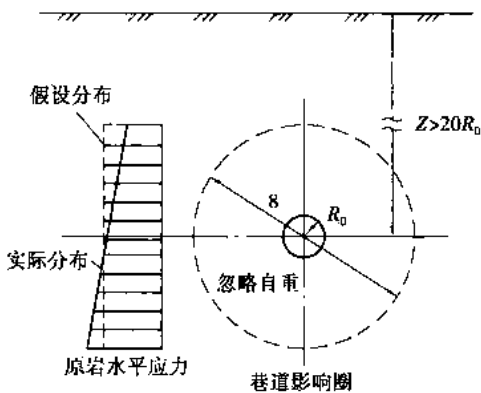


图 1-2 深埋巷道的力学特点

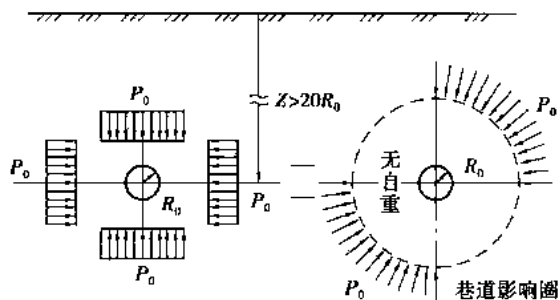


图 1-3 轴对称圆巷的条件